

磁気抵抗効果を用いた磁気センサ、磁気抵抗効果を用いた磁気センサの駆動方法、及び、磁気記録装置

技術分野

本発明は磁気抵抗効果を用いた磁気センサ、磁気抵抗効果を用いた磁気センサの駆動方法、及び、磁気記録装置に関するものであり、特に、従来より高感度で磁気情報を検出するための回路構成に特徴のある磁気抵抗効果を用いた磁気センサ、磁気抵抗効果を用いた磁気センサの駆動方法、及び、磁気記録装置に関するものである。

背景技術

近年、高密度磁気記録装置における再生用磁気ヘッドとして、巨大磁気抵抗（GMR：Giant Magneto Resistive）効果を利用した磁気ヘッドが用いられている。

この様な磁気ヘッドにおける磁気センシング方法においては、磁化方向が固定された磁性層（ピンド層）と磁化方向が自由な磁性層（フリー層）との間に非磁性導電層を設けたGMR素子に一定のセンス電流を流し、高密度に磁気記録信号が書き込まれた磁気記録媒体から漏洩する磁束の変化に対応してGMR素子の電位差が変化する現象を利用している。

したがって、大電流を流せばオームの法則により大きな出力が得られるが、発熱等により実際に流せるセンス電流には限界がある。

近年、このようなGMR素子に代わる次世代の再生用磁気ヘッドとしてスピントネル磁気抵抗（TMR：Tunneling Magneto Resistive）効果を用いた磁気ヘッドの研究が進められている（例えば、特開2002-237628号公報参照）。

このTMR素子は、磁化方向の固定された磁性層（ピンド層）と磁化方向が自由な磁性層（フリー層）との間にAl-oxide等の絶縁層を挟んだ構造となっており、センス電流を磁気感知膜面に垂直に流した場合に、2つの磁性層の磁

化方向のなす角により絶縁膜を通過するトンネル電流が変化し、その変化をTMR素子の電位差の変化として読み取るものである。

このTMR素子は、例えば、数十％程度の非常に大きな抵抗変化率が得られるため、大きな出力が期待される。

しかし、TMR素子はAl—oxide等の絶縁膜を挟んでいるため抵抗値が非常に大きく実際には大きなセンス電流を流すことができず、したがって、大きな出力が得られないという問題がある。

また、抵抗が大きいと、ノイズが大きいという欠点があり、TMR素子の出力を増幅した場合には出力は大きくなるもののノイズも大きく増幅され、微弱な磁束の検出を高精度で行うことができなくなる。

一方、検出感度の低いMR素子においては、MR素子をハートレー型発振回路或いはコルピッツ型発振回路に組み込むことにより、MR素子の抵抗変化をリアクタンス変化に変換し、それによって、高周波信号の有無を検出することが提案されている（例えば、特開平06—338005号公報参照）。

しかし、上記の特開平06—338005号公報の場合には、MR素子がLC回路の一部を構成、即ち、MR素子が発振回路の共振部を構成しているため、MR素子の抵抗が変化すると発振が不安定になるという問題がある。

そのため、画像データを記録するビデオテープ記録装置のように $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 程度のエラーが許容される場合には實際上問題が生じなくても、ハードディスク装置のように 10^{-7} 程度以下のエラーレートが要求されるセンシング法としては向いていないという問題がある。

また、MR素子が共振回路を構成しているため、MR素子に大きな電流が流れ、それによって、素子特性が変化したり破壊する虞がある。

特に、絶縁層を有し絶縁破壊が問題となるTMR素子の場合は、上述の回路構成は実用的でない。

したがって、本発明は、流し得るセンス電流の上限による高感度化の制約を打破することを目的とする。

発明の開示

図 1 は本発明の原理的構成の説明図であり、この図 1 を参照して本発明における課題を解決するための手段を説明する。

図 1 参照

(1) 本発明は、磁気抵抗効果を用いた磁気センサにおいて、トランジスタ 2 及び LC 回路 3 からなる発振回路 1 のトランジスタ 2 と LC 回路 3 の帰還ループの一部に磁気抵抗効果素子 4 を接続するとともに、スイッチング手段 5 を設け、スイッチング手段 5 のスイッチング周波数によって磁気データの読取速度を規定することを特徴とする。

この様に、発振回路 1 を構成するトランジスタ 2 と LC 回路 3 の帰還ループの一部に磁気抵抗効果素子 4 を接続することによって、従来の数十倍の高出力で磁気信号を検出することが可能になる。

また、スイッチング手段 5 を設けることによって、一度始まった発振の停止を制御することができ、このスイッチング手段 5 のスイッチング周波数によって磁気データの読取速度を規定することができる。

(2) また、本発明は、上記 (1) において、発振回路 1 が、ハートレー型発振回路或いはコルピッツ型発振回路のいずれかであることを特徴とする。

この様に、ハートレー型発振回路或いはコルピッツ型発振回路という良く知られている発振回路を用いることによって、簡単な回路構成によって安定した発振動作を得ることができる。

即ち、MHz 以上の高周波帯域において磁気信号を検出するために、高周波発振が可能なハートレー型発振回路或いはコルピッツ型発振回路が適しているためである。

(3) また、本発明は、上記 (1) または (2) において、磁気抵抗効果素子 4 が、トンネル磁気抵抗効果素子であることを特徴とする。

磁気信号を検出する磁気抵抗効果素子 4 としては、相対的に大きな磁気抵抗効果が得られる、トンネル磁気抵抗効果素子 (TMR 素子) 或いはスピンバルブ型巨大磁気抵抗効果素子 (GMR 素子) のいずれかが好適である。

特に、高周波数の磁気信号を検出する場合には、磁気抵抗効果素子 4 としては、トンネル磁気抵抗効果素子 (TMR 素子) のように容量性の素子である場合に特

に効果が著しい。

(4) また、本発明は、磁気センサの駆動方法において、トランジスタ 2 及び LC 回路 3 からなる発振回路 1 のトランジスタ 2 と LC 回路 3 の帰還ループの一部に磁気抵抗効果素子 4 を接続するとともに、スイッチング手段 5 を設け、スイッチング手段 5 のスイッチング周波数によって磁気データの読取速度を規定することを特徴とする。

この様に、磁気データの読取速度は発振の停止を制御するスイッチング手段 5 のスイッチング周波数によって規定されるので、スイッチング手段 5 のスイッチング周波数を高くすることによって、高速読出が可能になる。

但し、発振回路 1 の発振周波数はスイッチング周波数に応じて変える必要があり、発振周波数は、スイッチング周波数の 10 倍以上とすることが望ましい。

(5) また、本発明は、磁気記録装置において、上記 (1) 乃至 (3) のいずれかに記載の磁気抵抗効果を用いた磁気センサを再生用磁気ヘッドとして備えたことを特徴とする。

この様に、上記 (1) 乃至 (3) のいずれかに記載の磁気抵抗効果を用いた磁気センサを再生用磁気ヘッドとして備えることによって、微細化により漏洩磁界が微弱になる高密度磁気記録装置の実現が可能になる。

また、高感度になることにより、単純に増幅器を用いた場合に比べて S/N 比を大きくすることができ、したがって、磁気抵抗効果素子 4 の特性のばらつきの影響を受けにくくなるので、素子特性の再現性に乏しい TMR 素子の製造歩留りの向上が可能になる。

図面の簡単な説明

図 1 は、本発明の原理的構成の説明図である。

図 2 は、本発明の第 1 の実施の形態の高感度磁気検知回路の回路構成図である。

図 3 は、本発明の第 1 の実施の形態における発振出力結果の説明図である。

図 4 は、本発明の第 2 の実施の形態の高感度磁気検知回路の回路構成図である。

発明を実施するための最良の形態

ここで、図 2 及び図 3 を参照して本発明の第 1 の実施の形態の高感度磁気検知方法を説明する。

図 2 参照

図 2 は、本発明の第 1 の実施の形態の高感度磁気検知装置の回路構成図であり、ハートレー型発振回路 10 と RF スイッチング回路 30 とから構成される。

ハートレー型発振回路 10 を構成する直列接続したインダクタ 13 とインダクタ 14 とコンデンサ 15 との並列接続からなる LC 共振回路と、トランジスタ 16 のドレインとの間に、RF スイッチング回路 30 及び抵抗器 18 を介して TMR 素子 20 を直列接続する。

この場合、TMR 素子 20 に流れる直流電流及び交流電流を小さくし素子の破壊及び特性変化を防ぐために、TMR 素子 20 に直列に抵抗器 21 を接続するとともに、並列にコンデンサ 22 を接続し、TMR 素子 20 の一端を抵抗器 12 及びインダクタ 11 を介して電源 V_{DD} に接続する。

この場合の TMR 素子 20 としては、どのようなものでも良いが、ここでは、FeCo ピンド層 / Al-oxide / NiFe フリー層からなる TMR 素子とし、FeCo と NiFe の保磁力の差を利用して FeCo ピンド層の磁化方向を初期の外部磁場の印加方向に固定する。

また、LC 共振回路の他端は、コンデンサ 17 を介してトランジスタ 16 のゲートに接続されるとともに、ダイオード 19 を介して接地される。

また、RF スイッチング回路 30 は、高周波用トランジスタ 31 を備え、パルス発生器 32 からのパルス入力 V_{IN} は、コンデンサ 33 及び抵抗器 35 からなる微分回路、ダイオード 34 及び抵抗器 36 からなる半波整流回路を介して高周波用トランジスタ 31 のゲートに入力されて高周波用トランジスタ 31 のスイッチング動作を制御する。

この RF スイッチング回路 30 を ON にした状態で、TMR 素子 20 のインピーダンスが外部磁場の影響でハートレー型発振回路 10 の発振条件を満たすように変化した場合、直列接続したインダクタ 13 とインダクタ 14 とコンデンサ 15 との並列接続からなる LC 共振回路により発振が始まり、発振信号 V_{osc} は、トランスを構成するインダクタ 23 を介して検波器とローパスフィルタとからな

る直流変換回路 24 へ入力され、端子 25 から出力されることになる。

しかし、TMR 素子 20 のインピーダンス変化によって一度発振が開始すると、TMR 素子 20 のインピーダンスが元に戻っても発振が停止しないため、RF スイッチング回路 30 を OFF にして発振を停止する。

RF スイッチング回路 30 を OFF にするためには、RF スイッチング回路 30 に印加するパルス入力 V_{IN} の立ち下がり部を利用するものであり、パルス入力 V_{IN} の周波数に応じてスイッチする ON/OFF のウィンドウを作る。

例えば、250 MHz のパルス入力 V_{IN} によって ON 時間約 3.9 ns のウィンドウ内に生じる TMR 素子 20 のインピーダンス変化を検出し、OFF 時間約 0.1 ns で発振をリセットする。

このハートレー型発振回路 10 において、インダクタ 13, 14 のインダクタンスを各々 0.1 nH とし、コンデンサ 15 の容量を 0.1 pF とした結果、17.2 GHz の発振周波数で発振する。

また、高速磁気検知においては、発振立ち上がり時間を短くする必要があるので、トランジスタ 16 として室温動作可能で増幅率の大きな高周波用の InGaAs FET 等を用いることにより、0.1 ns 程度の極短の発振動作立ち上がり時間を実現することができる。

また、上述の TMR 素子 20 に流れる直流電流及び交流電流を小さくするために接続した抵抗器 21 の抵抗値は例えば、1.3 k Ω とし、コンデンサ 22 の容量は 50 pF とすることにより TMR 素子 20 に流れる電流を約 1.7 mA に抑えることができる。

なお、この抵抗値及び容量は発振条件にはほとんど影響しない。

また、電源 V_{DD} 、インダクタンス 11、及び、抵抗器 12 を、各々 1.5 V、1 mH、及び、100 Ω とすることによって、ピークピーク発振電圧として $V_{osc} = 5 V_{DD}$ 以上の出力を得ることができる。

なお、コンデンサ 17 の容量は 1 pF であり、また、抵抗器 18 の抵抗値は 4 Ω とする。

次に、図 3 を参照して、発振出力の検出結果を説明する。

図 3 (a) 乃至 (c) 参照

図3 (a) は、TMR素子20の抵抗値 R_T の変化を説明するタイムチャートであり、 $t = 1.5 \text{ ns}$ において、外部磁場により抵抗値 R_T が 110Ω から 100Ω へと変化したことを示している。

また、図3 (b) は、パルス発生器33からのパルス入力 V_{IN} の電圧波形であり、 250 MHz のパルス電圧として示しており、このパルスの立ち下がりによってスイッチング回路がOFFとなる。

また、図3 (c) は、発振検出出力 V_{osc} の波形図であり、 $t = 0 \text{ ns}$ でRFスイッチング回路30がONして、待機状態とし、図3 (a) に示すように、 $t = 1.5 \text{ ns}$ においてTMR素子20の抵抗値 R_T が変化したことを検出して、トランジスタ16の特性に応じて約 0.1 ns の発振動作立ち上がり時間で発振が開始する。

次いで、 $t = 0$ から 3.9 ns のON時間ののち、パルス入力 V_{IN} の立ち下がりと共に約 0.1 ns のOFF時間で発振をリセットさせた場合、 $t = 4.0 \text{ ns}$ においてRFスイッチング回路30がOFFになって、 0.15 ns の発振停止遅延時間で発振が停止する。

この場合の発振電圧 V_{osc} は、ピーク－ピーク電圧で $8.3 V_{pp}$ となり、従来のTMR素子の検出出力の数十倍の高出力が得られる。

即ち、本発明の第1の実施の形態においては、外部磁場の印加によりインピーダンス変化が生ずるTMR素子20をハートレー型発振回路10の帰還ループ内に組み込んでおり、発振周波数は主としてインダクタ13、14及びコンデンサ15等によって決まり安定しているので、 10^{-7} 以下のエラーレートを容易に実現することができる。

しかし、安定して発振するため、素子抵抗が元に戻っても発振は停止しないため、発振を制御するRFスイッチング回路30と組み合わせることによって、ある時間内に磁場変化が生じたか否かの信号の有無を高感度で検出することが可能になる。

また、帰還ループのTMR素子20に直列に抵抗21及び並列に22等を挿入することによって、TMR素子20に流れる電流を低減することができるので、TMR素子20が破壊されることはない。

この様に、本発明の第 1 の実施の形態の高感度磁気検知装置の場合には、従来に比べて非常に高感度で大出力が得られるため、TMR 素子の素子特性にバラツキがあっても「0」, 「1」信号を安定に検出することができるので、TMR 素子の良品率を高くすることができ、結果として製造歩留りを向上することができる。

即ち、TMR 素子においては、Al を酸化して Al-oxide からなるトンネル絶縁膜を形成する際に、再現性良く均一なトンネル絶縁膜を形成することが困難であるため、素子特性のバラツキが大きくなるが、本発明によって、従来、不良品として扱われていた素子も良品として使用することが可能になる。

次に、図 4 を参照して、本発明の第 2 の実施の形態の高感度磁気検知回路を説明するが、上記の第 1 の実施の形態の高感度磁気検知回路におけるハートレー型発振回路をコルピッツ型発振回路に置き換えたものであり、基本的構成は同様であるので、詳細な説明は省略する。

図 4 参照

図 4 は、本発明の第 2 の実施の形態の高感度磁気検知装置の回路構成図であり、ハートレー型発振回路 10 を構成する直列接続したインダクタ 13 とインダクタ 14 とコンデンサ 15 との並列接続からなる LC 共振回路を、直列接続したコンデンサ 42 とコンデンサ 43 とインダクタ 41 との並列接続からなる LC 共振回路に置き換えることによって、コルピッツ型発振回路 40 を構成したものである。

この場合、発振信号 V_{osc} は、LC 共振回路を構成するコンデンサ 42 を介して検波器とローパスフィルタとからなる直流変換回路 24 へ入力され、端子 25 から出力されることになる。

この第 2 の実施の形態においては、発振回路としてコルピッツ型発振回路を用いているので、ハートレー型発振回路に比べてインダクタの構成が容易で、LSI 等に向けた回路構成となる。

なお、発振回路の一部をインピーダンス変化する素子で構成し、発振周波数の変化を検出する磁気検知方法が提案（例えば、特開平 9-080134 号公報）されているが、これは、発振周波数の変化を検出するものであり、発振の有無を検知する本発明とは原理が全く異なるものである。

以上、本発明の実施の形態を説明してきたが、本発明は実施の形態に記載された構成・条件に限られるものではなく、各種の変更が可能である。

例えば、上記の実施の形態においては、再生ヘッドに用いる磁気センサを前提に説明しているが、再生ヘッド用の磁気センサに限られるものではなく、眠気センサ、タッチセンサ、水位センサ、ごみ処理分別センサ、或いは、防犯センサ等に利用される各種の磁気センサに応用できるものである。

また、上記の実施の形態においては、磁気抵抗効果素子として、 $\text{FeCo}/\text{Al-oxide}/\text{NiFe}$ 構造のTMR素子を用いているが、フリー層とピンド層の組合せは任意であり、保磁力の差を利用すれば良い。

さらには、ピンド層のピン止めは、保磁力の差を利用せずにIrMnやPdPtMn等の反強磁性層を用いてピン止めしても良いものであり、それによって、ピンド層のピン止めが安定化するとともに、ピンド層とフリー層とを同じ材料で構成することが可能になる。

また、図2に示した回路における各構成要素の数値は、単なる一例であることは言うまでもなく、磁気ディスクにおける記録密度に応じてLC発振回路の発振周波数や、パルス入力 V_{IN} の周波数を適宜設定すれば良いものである。

トランジスタ、抵抗、コンデンサ等はディスクリート部品ではなく、ICやLSIのように基板上に集積して用いても良いことはもちろんである。

また、磁気抵抗効果素子として、特に効果が大きいTMR素子を用いているが、TMR素子に限られるものではなく、GMR素子或いはMR素子でも良いものであり、少なくとも外部磁場によりインピーダンスが変化するものであれば良いが、特に、インピーダンスの実部だけではなく、TMR素子のように虚部も変化する容量性の素子であることがノイズの点から望ましい。

本発明によれば、外部磁場によってインピーダンスの変化する磁気抵抗効果素子を発振回路との帰還ループ内に組み込んでいるので、従来の数十倍の安定した出力を得ることができ、次世代の再生用高感度磁気ヘッドの実現に寄与するところが大きい。

請求の範囲

1. トランジスタ及びLC回路からなる発振回路の前記トランジスタとLC回路との帰還ループの一部に磁気抵抗効果素子を接続するとともに、スイッチング手段を設け、前記スイッチング手段のスイッチング周波数によって磁気データの読取速度を規定することを特徴とする磁気抵抗効果を用いた磁気センサ。
2. 上記発振回路が、ハートレー型発振回路或いはコルピッツ型発振回路のいずれかであることを特徴とする請求項1記載の磁気抵抗効果を用いた磁気センサ。
3. 上記磁気抵抗効果素子が、トンネル磁気抵抗効果素子であることを特徴とする請求項1に記載の磁気抵抗効果を用いた磁気センサ。
4. トランジスタ及びLC回路からなる発振回路の前記トランジスタとLC回路との帰還ループの一部に磁気抵抗効果素子を接続するとともに、スイッチング手段を設け、前記スイッチング手段のスイッチング周波数によって磁気データの読取速度を規定することを特徴とする磁気抵抗効果を用いた磁気センサの駆動方法。
5. 請求項1に記載の磁気抵抗効果を用いた磁気センサを再生用磁気ヘッドとして備えたことを特徴とする磁気記録装置。

要約書

磁気抵抗効果を用いた磁気センサ、磁気抵抗効果を用いた磁気センサの駆動方法、及び、磁気記録装置に関し、流し得るセンス電流の上限による高感度化の制約を打破することを目的とし、トランジスタ 2 及び LC 回路 3 からなる発振回路 1 のトランジスタ 2 と LC 回路 3 の帰還ループの一部に磁気抵抗効果素子 4 を接続するとともに、スイッチング手段 5 を設け、スイッチング手段 5 のスイッチング周波数によって磁気データの読取速度を規定する。